

I-505

拡張カルマンフィルタを用いたライフラインの構造的復旧予測

武蔵工業大学 正会員 星谷 勝 産業能率大学 正会員 大野春雄
 福山大学 正会員 千葉利晃 石川建設 正会員 鈴木基能

1. はじめに

既に、電力システムと上水道システムを対象として、システムダイナミックス手法を用い、地震時ライフラインシステムの定量的機能評価モデルを構築した¹⁾。このモデルは、電力システム、上水道システムを対象に、それぞれ構造的復旧モデルと機能的復旧モデルへと表現し、各システムの相互連鎖性を考慮したモデルとなっている。本研究では、このライフラインシステムの機能評価モデルの構造的復旧モデルに着目し、震災後、当初の復旧方針である程度復旧作業を実施した後の復旧戦略の変更を利用できる事を 目指して、拡張カルマンフィルタを適用した構造的復旧予測モデルを作成した。

2. 拡張カルマンフィルタによる構造的復旧予測モデル

(1) 構造的復旧モデル : 機能評価モデルは評価対象地域に対して面的に広がり、対象地域は各ライフラインシステムのネットワークにより、いくつかの供給エリアに細分化される。そして、各供給エリアに対し構造的復旧過程を求める。

構造的復旧モデルは構造的復旧過程を求めるモデルであり、構造的復旧の評価指標は被害件数 EVi^t (件) である。添字 i は供給エリア番号である。被害件数 EVi^t は復旧率 $ERRi^t$ (件/時) によって決まり、次式で表される。

$$EVi^{t+\Delta t} = EVi^t - \Delta t \cdot ERRi^t \quad (1)$$

ここで、 Δt は時間刻みを表し、初期被害数は EVi^0 で表される。

復旧率 $ERRi^t$ (件/時) は供給エリア i に投入する復旧作業人員 ENi^t (人) と作業効率 EE^t (件/時・人) により次式で表される。

$$ERRi^t = ENi^t \cdot EE^t \quad (2)$$

復旧作業人員 ENi^t は、対象地域全体にかかる総復旧人員 ETN^t (人) と復旧人員を n 個のエリアに配分する配分比率 ERi^t (無次元) により次式で表される。

$$ENi^t = ERi^t \cdot ETN^t \quad (3)$$

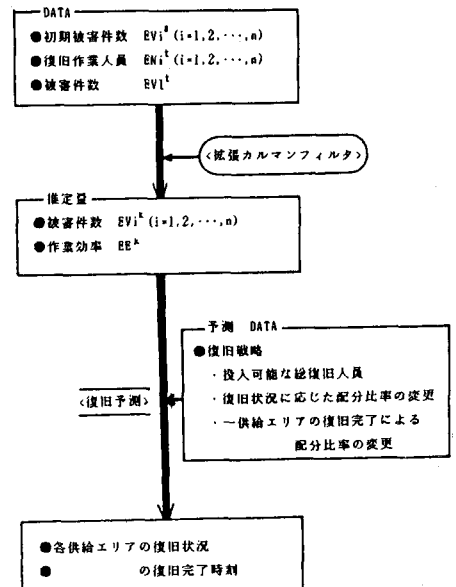
配分比率 ERi^t は $\sum_{i=1}^n ERi^t = 1.0$ であり、防災計画における 図-1 構造的復旧予測モデル
 復旧戦略の指標となる。復旧状況に応じて配分比率を変える戦略と、一つの供給エリアの復旧完了時に配分比率を変更する戦略に分けられる。

(2) 拡張カルマンフィルタによる定式化 : 震災後の復旧状況において作業効率 EE^t は、震災の季節、天候、時間そして震災直後の混乱などに左右され一律に決定することができない。そこで、拡張カルマンフィルタにより作業効率 EE^t と復旧状況を推定し復旧予測を行うため、以下に示す定式化を行った。

状態方程式と観測方程式をそれぞれ (4), (5) 式に示す。ここで、 W_t , V_t は雑音 (誤差) である。

$$\begin{array}{c|c} \begin{array}{c} EV1 \\ EV2 \\ \vdots \\ EVn \\ EE \end{array} & \begin{array}{c} = \\ \\ \\ \\ \end{array} & \begin{array}{c} EV1 - \Delta t \cdot EN1 \cdot EE \\ EV2 - \Delta t \cdot EN2 \cdot EE \\ \vdots \\ EVn - \Delta t \cdot ENn \cdot EE \\ EE \end{array} & \begin{array}{c} + \\ \\ \\ \\ \end{array} & \begin{array}{c} W_t \\ \\ \\ \\ \end{array} \end{array} \quad (4)$$

$$y_t = EVi^t + v_t \quad (5)$$



震災後の復旧過程において、 n 個のすべての供給エリアに対し、被害件数 EV_i^t を観測することは不可能であると思われる。そこで、(5) 式の観測方程式に示すように n 個の供給エリアの内、一つのエリアにおいてのみ被害件数 EV_1^t が観測できるものとする。また、各供給エリアに投入される復旧作業人員 EN_i^t は観測データとして確保できるものとする。

定式化した拡張カルマンフィルタにより、予測開始時刻 k 時(復旧開始後 k 時間)までのひとつの供給エリアの被害件数 EV_1^t と初期被害件数 EV_i^0 ($i=1, 2, \dots, n$) のデータを与えることで時刻 k における各供給エリアの被害件数 EV_i^k と作業効率 EE^k を効率よく推定することができる。そして、状態推定値と k 時刻以後対象地域に投入できる総復旧人員 ETN^t と復旧戦略の指標である配分比率 ER_i^t を与えることで、(1)~(3) 式により各供給エリアの復旧状況と復旧完了時刻の予測が可能となる。図-1に構造的復旧予測モデルの流れを示す。

3. 数値計算例および考察

数値計算例として5個の供給エリアをもつ構造的復旧モデルを考える。そして、1時間刻み ($\Delta t = 1.0$) として復旧開始後8時間までのデータ EV_i^t ($i=1, 2, \dots, 5$) を作成した。

最初に、拡張カルマンフィルタにより予測開始時刻(復旧開始より8時間後)における状態量の推定を行った。このとき、被害件数 EV_1^t が観測されるものとし、他の被害件数 $EV_2^8 \sim EV_5^8$ 、そして作業効率 EE^8 を求めた。8時間後における推定結果を表-1に示した。ここで、拡張カルマンフィルタにおける状態量の初期値は、各供給エリアの初期被害件数とした。この結果、推定値は真値と一致した。

次に、求められた推定値と復旧戦略により復旧状況の予測を行った。まず、投入可能な総復旧人員を与える。そして、総復旧人員の配分比率 ER_i^t を推定された各供給エリアの被害件数より決定する。すなわち、8時間後の各エリアの復旧の割合、また各エリアの重要度などにより配分比率 ER_i^t を決定する。今回の計算では、予測以前の配分比率をそのまま用いた。

次に、一供給エリアの復旧が完了した場合の復旧人員の再配置の方法を与える。ここでは、完了した供給エリアの人員を残りの供給エリアに等分配した。このとき、人員の再配置は配分比率 ER_i^t を操作することにより行われる。計算結果を図-2に示す。計算結果より、復旧状況と復旧完了時刻を予測することができた。

4. まとめ

拡張カルマンフィルタを用いた構造的復旧予測モデルを作成した。このモデルにより震災

時の情報化戦略すなわち復旧状況に逐次対応した復旧戦略の指標となる復旧予測が効率良く行われる。また先に示した定量的機能評価モデルの構造的復旧モデルは、地域を500m x 500m に分割したメッシュデータをもとに計算していくため広域対象地域においては、データ量と演算時間の負荷が大きい。この点について、この拡張カルマンフィルタを用いたモデルは利便性が向上している。しかし、ここでの今後の課題である機能的復旧モデルにおけるカルマンフィルタの適用は行っていない。

参考文献 1). 星谷、大野; システムダイナミックスによる地震時ライフラインシステムの防災性の検討、

第10回電算機利用に関するシンポジウム講演集, PP.37~44, 1985年10月

表-1 推定結果

	初期値	真値	推定値
EV2	300.0	234.6	234.6
EV3	150.0	128.2	128.2
EV4	100.0	56.4	56.4
EV5	80.0	58.2	58.2
EE	1.0	0.2	0.2

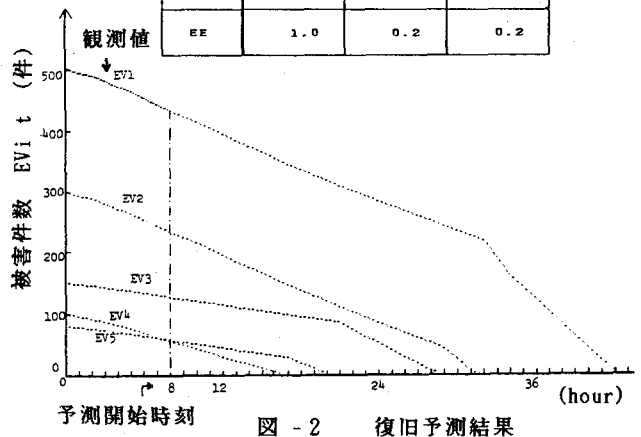


図-2 復旧予測結果